

## M3 機能的電気刺激 (FES) の量子化積分制御方式の提案

○増田竜一\*, 村上 肇\*\*, 伊藤建一\*\*

\*新潟工科大学大学院工学研究科, \*\*新潟工科大学情報電子工学科

## 1.はじめに

運動機能麻痺者の動作再建法として, 機能的電気刺激 (Functional Electrical Stimulation; FES) が広く応用されている<sup>[1]</sup>. FES システムの制御方式の1つとして, 入力信号の振幅を時間積分して刺激強度のデータアドレスを決定する「積分制御方式」を我々は提案している<sup>[2]</sup>.

本研究では, 振幅をいくつかの閾値によって量子化して積分する「量子化積分制御方式」を提案する. そして手関節掌背屈筋群から得た筋電信号を入力信号とした目標追従実験と, 片麻痺者を模擬した両手の協調動作を実施した. これらの FES の模擬実験を通して本方式の基本的な実現可能性を確認したので報告する.

## 2.入力信号の量子化

入力信号の振幅  $x$  を式 (1) のように量子化する. この量子化された値を式 (2) によって時間積分することでデータアドレス  $p(t)$  が決定される.  $p(t)$  は  $x_1$  によって増加し,  $x_2$  によって減少する.

$$F(x) = \begin{cases} 0; & \text{if } 0 < x < \theta_1 \\ c_1; & \text{if } \theta_1 < x < \theta_2 \\ c_2; & \text{if } \theta_2 < x < \theta_3 \\ \vdots & \end{cases} \quad (1)$$

但し,  $c_1, c_2 \dots$ : 量子化された値,  $\theta_1, \theta_2 \dots$ : 閾値.

$$p(t) = a \cdot \int_{t_0}^t \{F(x_1) - F(x_2)\} dt \quad (2)$$

但し,  $a$  は比例定数,  $t_0$  はシステム動作開始時刻.

ここで  $c_1$  以降をすべて同一に設定すると従来の間接比例制御方式, また閾値の間隔を細かく設定し量子化された値を徐々に増加するよう設定すると従来の積分制御方式を表すことができる.

## 3.実験

量子化積分制御方式の FES の基本的な実現可能性を確認するために, 筋電信号を入力信号として 2 つの実験課題を行った.

健常被験者の手関節掌屈筋群, 同背屈筋群の筋電信号を表面電極にて導出し, 増幅器 (日本光電, MEG-6108) で増幅 (2,000 倍), 帯域制限 (50~3kHz) した. これを整流平滑回路 (低域通過フィルタのカットオフ周波数 1.2Hz) を介し, サンプリング周波数 200Hz で AD 変換してパーソナルコンピュ

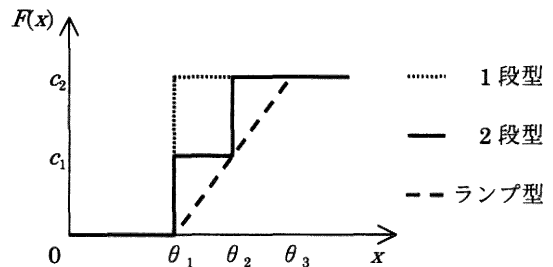


図1 積分制御方式の被積分関数の相違

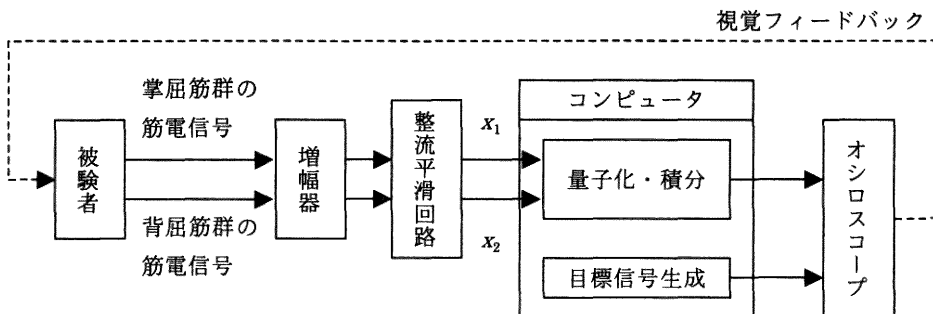


図2 目標追従実験のブロック図

ータ (PC-9821Nb) に取り込んだ。本実験では量子化の値を  $c_1=1$ ,  $c_2=2$  とし、閾値は予備実験によって被験者に適したものをを用いた。図 1 に  $\theta_1 \sim \theta_2$  で  $c_1$ ,  $\theta_2 \sim \theta_3$  で  $c_2$  となる 2 段型,  $\theta_1 \sim \theta_3$  間を線形変化するランプ型, そして  $\theta_1$  以上で  $c_2$  とする 1 段型の量子化の違いを示す。

第一の課題では、筋電信号から計算される制御信号を、与えられた目標信号に追従させる。図 2 に実験のブロック図を示す。目標信号をコンピュータから DA 変換により発生させたステップ信号 (振幅 2[V], 周期 24[s]) をオシロスコープに呈示させる。被験者は視覚フィードバックによって制御信号が追従するよう筋活動を調整する。

第二の課題では、片麻痺者を想定した両手の協調動作として、缶飲料のプルタブを開ける動作を行う。麻痺上肢は対象物の支持固定といった補助手として用いられるため<sup>[3]</sup>, 麻痺上肢をシミュレーションするアームロボット<sup>[4]</sup>の手指の開閉を健常上肢の筋活動によって操作して、缶を支持固定する。その後、健常上肢でプルタブを開ける。このとき  $f(x)$  は 2 段型を用いた。

#### 4. 結果・考察

第一の課題では図 3 に示すように、細かく量子化することで動作速度が可変になるため目標追従が容易に行えた。第二の課題では図 4 に示すように、シミュレータによって片手で難しい動作を達成できた。また、ニンジンの皮むきも同様に達成できた。

本方式は、従来の間接比例制御方式や積分制御方式を統一的に記述することが可能であり、 $f(x)$  が非線形になるよう設定することもできるので、さまざまな関数に対応できる。今後は、 $f(x)$  の段数による違いを比較検討する予定である。

なお、本研究を進める上で御助言・御助力を頂いた、東北大学大学院工学研究科・星宮 望氏、渡邊高志氏、東北大学未来科学技術共同研究センター・半田康延氏に深く感謝する。

#### 参考文献

- [1] 星宮・半田, 電学誌, 119-11, 676/678(1999)
- [2] 村上・他, 信学技報, MBE99-114, 85/90(1999)
- [3] 市江, 臨床整形外科, 30-2, 183/192(1995)

[4] 増田・他, 平成 11 年度電通学会信越支部大会講演論文集, 167/168(1999)

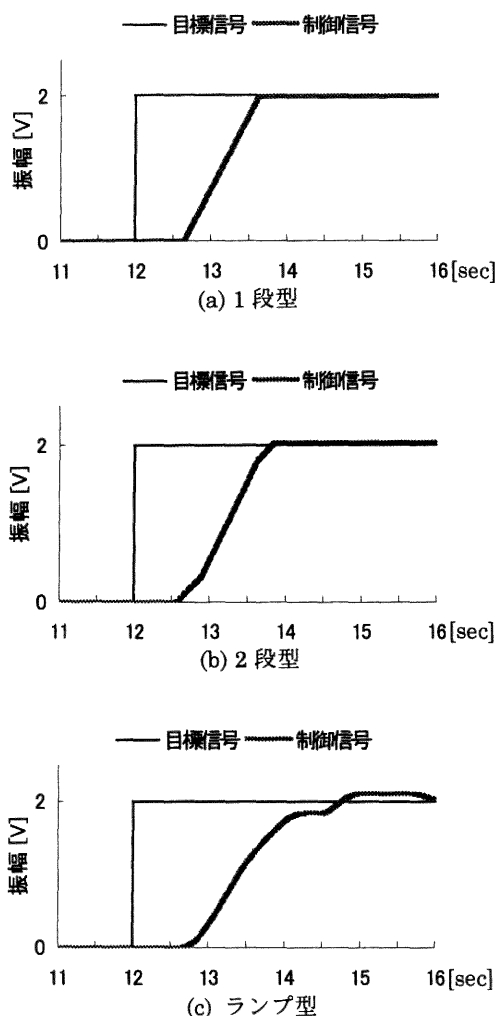


図 3 目標追従実験の結果

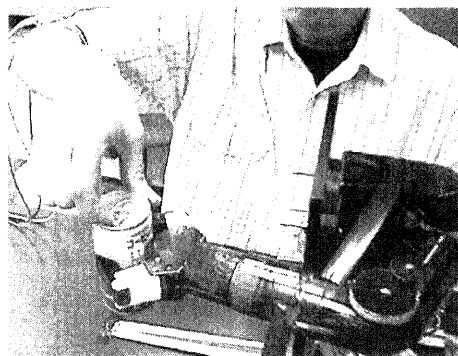


図 4 缶飲料のプルタブを開ける動作